

**ПЛАЗМЕННОЕ ПОЛУЧЕНИЕ СМЕСЕВЫХ ОКСИДНЫХ КОМПОЗИЦИЙ  
ДЛЯ УРАН-ТОРИЕВОГО ТОПЛИВА**

В.В. Зубов, С.В. Перминов, С.С. Кадочников

Научный руководитель: доцент, к.ф.-м.н. А.Г. Каренгин

Национальный исследовательский Томский политехнический университет,

Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30, 634050

E-mail: [kaberne1812@yandex.ru](mailto:kaberne1812@yandex.ru)

**EFFICIENCY'S ESTIMATION OF PLASMA UTILIZATION OF INFLAMMABLE WASTES IN  
CLOSED NUCLEAR FUEL CYCLE**

V.V. Zubov, S.V. Perminov, S.S. Kadochnikov

Scientific Supervisor: Associate Prof., PhD A.G. Karengin

National Research Tomsk Polytechnic University, Russia, Tomsk, Lenin str., 30, 634050

E-mail: [kaberne1812@yandex.ru](mailto:kaberne1812@yandex.ru)

**Abstract.** Article shows results on research of obtaining uranium and thorium oxides in air plasma from burning water-organic compositions based on nitric solutions and ethanol (acetone). Authors estimated formulations of burning compositions and process modes that provide direct and energy-efficient obtaining oxide compositions “ $UO_2-ThO_2$ ”. Findings could be used to create plasma technology of obtaining homogenous uranium and thorium oxide compounds for thorium fuel fabrication.

Значительную часть ядерной энергетики в двадцать первом веке будут составлять электростанции с реакторами на тепловых нейтронах, которые необходимо обеспечить недорогим топливом на весь период эксплуатации. С учетом ограниченности ресурса U-235 использование Th-232 в составе ядерного топлива таких реакторов открывает новые перспективы.

Применяемая технологическая схема получения гранулированного оксидного уран-ториевого топлива методом внешнего гелеобразования (золь-гель процесс) включает целый ряд стадий: приготовление исходного раствора, приготовление рабочего раствора, диспергирование рабочего раствора в раствор аммиака, промывка микросфер раствором аммиака, сушка, прокаливание, восстановление микросфер. К недостаткам золь-гель процесса следует отнести: многостадийность, продолжительность, низкая производительность, большие затраты на химические реагенты.

Плазменная обработка является одностадийным, гибким и наиболее универсальным методом получения из диспергированных водно-солевых растворов металлов как простых, так и сложных оксидов металлов многоцелевого назначения [1]. Основными достоинствами способа является: высокая скорость процесса; большое число каналов воздействия на физико-химические свойства целевых продуктов; возможность синтеза сложных оксидных соединений, а также высокая химическая активность получаемых целевых продуктов. Однако данная технология требует значительных энергозатрат на их обработку (до 4 МВт·ч/т).

Существенное снижение энергозатрат может быть достигнуто при плазменной обработке смесевых нитратных растворов (СНР) в виде оптимальных по составу горючих водно-солеорганических композиций (ВСОК) [2].

На первом этапе определена возможность получения из СНР в воздушной плазме оксидной уран-ториевой композиции « $\text{ThO}_2\text{--UO}_2$ » в конденсированной фазе. Для расчёта равновесных составов газообразных и конденсированных продуктов плазменной обработки СНР использовалась лицензионная программа TERRA, предназначенная для расчета произвольных гетерогенных систем с химическими и фазовыми превращениями. Она позволяет моделировать предельно равновесные состояния и реализует созданный в Московском государственном техническом университете им. Н.Э.Баумана метод и алгоритм расчетов. Программа сопряжена с обширной базой данных свойств индивидуальных веществ, что делает ее пригодной для исследования произвольных по химическому составу композиций. Расчёты проведены при атмосферном давлении (0,1 МПа), в широком диапазоне температур (300–4000) К и массовых долей воздушного плазменного теплоносителя (0,1–0,9).

На рисунке 1 представлены характерные равновесные составы основных газообразных (а) и конденсированных (б) продуктов плазменной обработки только СНР в воздушной плазме при массовой доле воздушного теплоносителя 73 % и исходном составе СНР (U : Th = 95 % : 5 %).

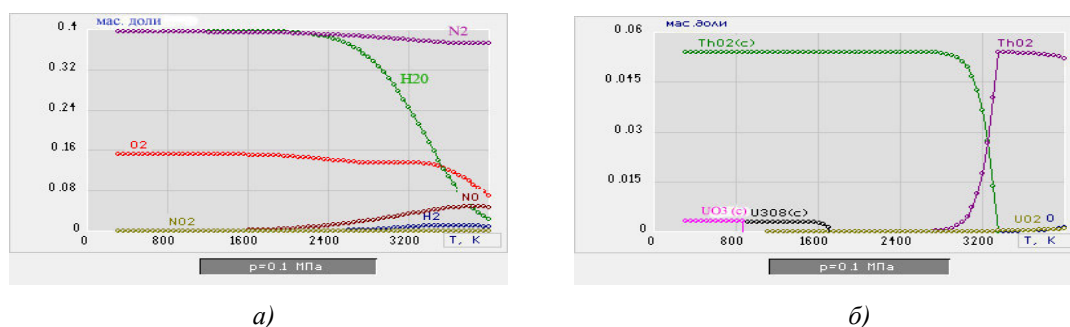


Рис. 1. Равновесный состав газообразных (а) и конденсированных (б) продуктов плазменной обработки СНР: (73 % Воздух : 27 % СНР)

В результате проведенных расчетов установлено, что плазменная обработка только СНР во всем интервале изменения массовых долей воздушного теплоносителя и температурах от 800 до 1600 К приводит к образованию в газовой фазе, в основном,  $\text{N}_2$ ,  $\text{H}_2\text{O}$  и  $\text{O}_2$ , а в конденсированной фазе – оксидной композиции « $\text{U}_3\text{O}_8\text{--ThO}_2$ » вместо требуемой композиции « $\text{UO}_2\text{--ThO}_2$ ».

На втором этапе определена возможность получения оксидных уран-ториевых композиций требуемого состава при плазменной обработке СНР в воздушной плазме в виде горючих водно-солеорганических композиций.

Проведены расчеты показателей горения различных по составу водно-солеорганических композиций (ВСОК) на основе СНР и этанола, и определен состав горючей композиции, имеющей низшую теплоту сгорания не менее 8,4 МДж/кг [4]: ВСОК: (65% СНР : 35% этанол).

На рисунке 2 представлены характерные равновесные составы основных газообразных (а) и конденсированных (б) продуктов плазменной обработки СНР в воздушной плазме в виде ВСОК при массовой доле воздушного теплоносителя 73 %.

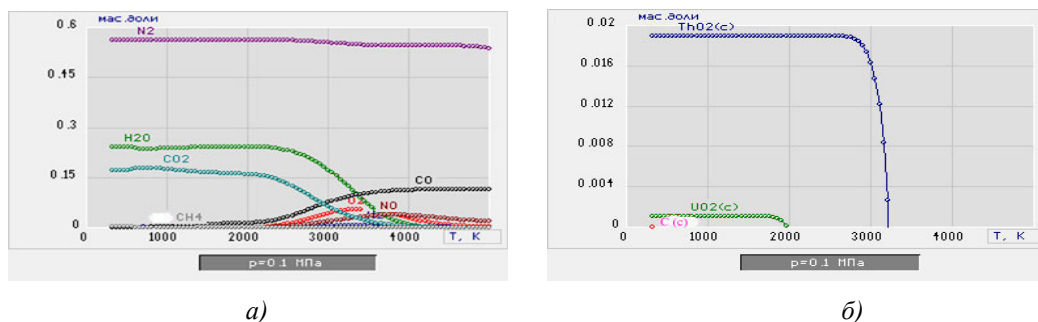


Рис. 2. Равновесный состав газообразных (а) и конденсированных (б) продуктов плазменной обработки ЧНР: (73 % Воздух : 27 % ВСОК)

Из анализа равновесных составов следует, что при массовой доле воздушного теплоносителя 73 % и температурах от 800 до 1600 К образуются в газовой фазе, в основном,  $N_2$ ,  $CO_2$  и  $H_2O$ , а в конденсированной фазе – оксидная композиция « $UO_2-ThO_2$ » требуемого состава. В результате проведенных расчетов установлено, что снижение массовой доли воздушного теплоносителя менее 73 % приводит к образованию в конденсированной фазе сажи  $C(s)$ , а повышение массовой доли воздушного теплоносителя свыше 73 % – к образованию в конденсированной фазе оксидной композиции « $U_3O_8-ThO_2$ » вместо требуемой композиции « $UO_2-ThO_2$ ».

С учётом полученных результатов может быть рекомендованы для практической реализации процесса плазменной обработки смесевых нитратных растворов урана и тория в воздушной плазме следующие оптимальные режимы:

- ВСОК (0,19 %  $UO_2(NO_3)_2 \cdot 6H_2O$  : 4,23 %  $Th(NO_3)_4 \cdot 6H_2O$  : 0,05 %  $HNO_3$  : 13,07 %  $H_2O$  : 9,45 %  $C_2H_6O$ );
- массовое отношение фаз (73 % Воздух : 27 % ВСОК);
- температура  $(1500 \pm 100)$  К.

Результаты проведенных исследований могут быть использованы при создании энергоэффективной технологии плазменной обработки смесевых нитратных растворов для получения оксидных уран-ториевых композиций.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Туманов Ю.Н., Плазменные и высокочастотные процессы получения и обработки материалов в ядерном топливном цикле. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2003. – 760 с.
2. Karengin A.G., Karengin A.A., Novoselov I.Yu., Tundeshev N.V. Calculation and Optimization of Plasma Utilization Process of Inflammable Wastes after Spent Nuclear Fuel Recycling, Advanced Materials Research, Volume 1040 (2014) 433-436.
3. Бернадинер, М. Н. Огневая переработка и обезвреживание промышленных отходов / М. Н. Бернадинер, А. П. Шурыгин. – М.: Химия, 1990. – 304 с.